

**PENGUKURAN DAN PERBANDINGAN PARAS
KEPEKATAN ^{222}Rn DALAM TANAH
MENGIKUT SIRI DAN TEKSTUR TANAH
DI KAWASAN SEBERANG PERAI UTARA,
PULAU PINANG**

SITI AISHAH AR. AZMI

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2007

**PENGUKURAN DAN PERBANDINGAN PARAS
KEPEKATAN ^{222}Rn DALAM TANAH
MENGIKUT SIRI DAN TEKSTUR TANAH
DI KAWASAN SEBERANG PERAI UTARA,
PULAU PINANG**

oleh

SITI AISHAH AR. AZMI

**Tesis yang diserahkan
untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

Mac 2007

Kepada yang teristimewa dalam hidupku:

*Ayahanda Tuan Hj. Ar. Azmi Omar,
Bonda Hjh. Noradah Talib,
Adinda Mohamad Nazri Ar. Azmi
dan
Adinda Muhammad Arif Ar. Azmi*

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah swt yang Maha Pemurah dan Maha Mengasihani. Alhamdulillah, syukur kepada Allah swt kerana dengan limpah dan kurniaNya dapatlah saya menyiapkan tesis penyelidikan ini dengan jayanya bagi memenuhi keperluan Ijazah Sarjana Sains.

Ucapan terima kasih ini ditujukan khas buat penyelia, Prof. Madya Dr. Mohamad Suhaimi Jaafar dan penyelia bersama, Prof. Madya Dr. Zuhar Zahir Tuan Harith yang telah banyak memberi bantuan, nasihat dan panduan dalam menyiapkan penyelidikan ini. Tidak lupa juga buat En Abdul Halim Abdul Ghani, En Sulaiman Hassan dan kakitangan Jabatan Pertanian di Bumbong Lima, Pulau Pinang dan Jabatan Pertanian di Telok Chengai, Kedah. Saya juga ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada En Azmi Omar, En Azmi Abdullah dan kakitangan dari Makmal Fizik Perubatan, Makmal Biofizik dan Makmal Geofizik di Pusat Pengajian Fizik yang telah banyak menghulurkan bantuan dari segi teknikal dan praktikal.

Seterusnya jutaan terima kasih ditujukan kepada ayahanda Tuan Hj. Ar. Azmi Omar, bonda tersayang Hjh. Noradah Talib dan ahli keluarga yang dikasihi, Tuan Hj. Lokman Omar, Pn. Ruzila Omar, En. Azman Omar, Mohamad Nazri Ar. Azmi, Muhammad Arif Ar. Azmi serta buat yang teristimewa Ahmad Marnizam Zulkiple di atas segala sokongan dan pengorbanan yang diberikan selama ini. Kepada semua rakan seperjuangan saya iaitu Wan Salwani Jaafar, Rini Safitri, Muhammad Syukri, Siti Masayu Rosliah Abdul Rashid, Rosniza Hamzah, Ramzun Maizan Ramli, Norzaini Zainal, Khadijah Hilmun Kamarudin, Syahril Amin Hashim, Mohd Fairuz Affandi Aziz, Azrul Nizam Alias, Nor Fadhlina Jaafar dan Noorhafida Mohamed, sokongan moral yang kalian berikan amat dihargai.

SENARAI KANDUNGAN

	Muka surat
Penghargaan	iii
Senarai Kandungan	iv
Senarai Jadual	vii
Senarai Rajah	viii
Senarai Plat	xi
Senarai Singkatan	xii
Senarai Simbol	xiv
Senarai Penerbitan Dan Seminar	xv
Abstrak	xvi
Abstract	xviii
 Bab 1 : Pengenalan	 1
1.0 Pengenalan	1
1.1 Kajian literatur	2
1.2 Objektif kajian	9
1.3 Rangka tesis	10
 Bab 2 : Teori ^{222}Rn dan kaitannya dengan tanah	 11
2.0 Pengenalan	11
2.1 Teori ^{222}Rn	11
2.1.1 Mekanisme emanasi dan pengangkutan ^{222}Rn	14
2.1.2 Siri reputan ^{238}U dan rantai pereputan isotop ^{222}Rn	16
2.1.3 Unit pengukuran ^{222}Rn	17
2.1.4 Kesan ^{222}Rn kepada kesihatan	17
2.2 Tanah	19
2.2.1 Tekstur tanah	20

Bab 3 : Kawasan Kajian	23
3.0 Pengenalan	23
3.1 Lokasi kajian	23
3.2 Siri-siri tanah di Seberang Perai Utara, Pulau Pinang	25
3.3 Geologi kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang	26
Bab 4 : Bahan Dan Kaedah Kajian	28
4.0 Pengenalan	28
4.1 Teknik kerja lapangan	29
4.1.1 <i>Global Positioning System (GPS)</i>	29
4.1.2 Auger tanah	29
4.1.3 Beg plastik	30
4.1.4 Pengambilan sampel	30
4.2 Teknik pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn	32
4.2.1 Pemantau ^{222}Rn	33
4.2.2 Pengukur kelembapan	35
4.2.3 Termometer	35
4.2.4 Bekas tertutup kedap udara dan bekas sampel	36
4.2.5 Pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn	37
4.3 Analisis saiz butiran tanah	39
4.3.1 Alat Radas	39
4.3.1 Analisis mekanikal menggunakan kaedah pipet	40
Bab 5 : Analisis Data Dan Perbincangan	43
5.0 Pengenalan	43
5.1 Udara	43
5.2 Perbandingan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan lokasi kajian	44
5.3 Perbandingan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan kelembapan relatif bagi sampel tanah	50
5.4 Perbandingan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan saiz butiran tanah	52
5.4.1 Pasir	52

5.4.2	Lodak	54
5.4.3	Lempung	55
5.5	Perbandingan antara tiga tahap paras kepekatan ^{222}Rn	57
5.6	Perbandingan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan beberapa jenis tekstur tanah	62
5.7	Perbandingan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan siri tanah yang terdapat di kawasan kajian	68
5.8	Perbandingan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan Formasi Gula, Formasi Simpang dan Formasi Beruas	74

Bab 6 : Rumusan Dan Cadangan Kajian Lanjutan 78

6.0	Rumusan	78
6.1	Cadangan kajian lanjutan	80

Senarai Rujukan 81

Lampiran 88

Lampiran A:	Langkah pengiraan bagi analisis mekanikal tanah.
Lampiran B:	Laporan analisis statistik dengan menggunakan program SigmaStat versi 3.11.
Jadual A:	Data nama kawasan dan koordinat bagi setiap sampel tanah yang diambil di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.
Jadual B:	Data jenis tekstur tanah, siri tanah dan jenis geologi bagi setiap sampel tanah.
Jadual C:	Data paras kepekatan ^{222}Rn dan kelembapan relatif bagi setiap sampel tanah.
Jadual D:	Data peratus kandungan pasir, lodak dan lempung bagi setiap sampel tanah.

SENARAI JADUAL

		Muka surat
2.1	Siri pereputan ^{238}U . Sumber: Littlefield & Thorley (1977).	16
2.2	Julat bagi saiz butiran tanah mengikut Sistem Antarabangsa. Sumber: Ashman & Puri (2002).	19
A	Data nama kawasan dan koordinat bagi setiap sampel tanah yang diambil di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.	90
B	Data jenis tekstur tanah, siri tanah dan jenis geologi bagi setiap sampel tanah.	93
C	Data paras kepekatan ^{222}Rn , kelembapan relatif, peratus kandungan pasir, lodak dan lempung bagi sampel tanah	96

SENARAI RAJAH

	Muka surat
2.1 Proses pembentukan atom ^{222}Rn . (Sumber: <i>U.S. Geological Survey</i> , 1995).	12
2.2 Proses pergerakan atom ^{222}Rn semasa pereputan atom ^{226}Ra . (Sumber: <i>U.S. Geological Survey</i> , 1995).	13
2.3 Mekanisme emanasi dan pengangkutan ^{222}Rn dalam tanah. (Sumber: <i>U.S. Geological Survey</i> , 1995).	15
2.4 Perbandingan saiz butiran tanah yang berdiameter kurang daripada 2.0 mm.	19
2.5 Segitiga tekstur menunjukkan 12 kelas tekstur tanah dalam system pengklasifian tekstur USDA. (Sumber: Haunsenbuiller, 1984).	21
3.1 Peta lokasi sampel tanah di kawasan Seberang Perai Utara di Pulau Pinang.	24
3.2 Peta Tinjauan Tanah Tanih Seberang Perai Utara, Pulau Pinang. (Diubahsuai daripada Jabatan Pertanian Putrajaya, 2005).	25
3.3 Peta Geologi Kuaterner Seberang Perai Utara, Pulau Pinang. (Diubahsuai daripada Jabatan Penyiasatan Kajibumi, 1992).	27
4.1 Carta alir kaedah kajian.	28
5.1 Perbandingan bilangan sampel tanah mengikut julat paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	44
5.2 Lokasi paras kepekatan ^{222}Rn berjulat antara 1.0 pCi/l – 1.9 pCi/l di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.	45
5.3 Lokasi paras kepekatan ^{222}Rn berjulat antara 2.0 pCi/l – 3.9 pCi/l di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.	47
5.4 Lokasi paras kepekatan ^{222}Rn berjulat antara 4.0 pCi/l – 10.9 pCi/l di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.	49

5.5	Perbandingan paras kepekatan ^{222}Rn min mengikut julat paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	50
5.6	Perbandingan kelembapan relatif min mengikut julat paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	51
5.7	Perbandingan peratus butiran pasir mengikut julat paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	53
5.8	Perbandingan peratus butiran lodak mengikut julat paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	54
5.9	Perbandingan peratus butiran lempung mengikut julat paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	56
5.10	Perbandingan bilangan sampel tanah mengikut tahap paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	57
5.11	Perbandingan paras kepekatan ^{222}Rn min mengikut tahap paras kepekatan ^{222}Rn tertentu.	58
5.12	Perbandingan kelembapan relatif min mengikut tahap paras kepekatan ^{222}Rn .	59
5.13	Perbandingan antara peratus butiran sampel min mengikut saiz butiran sampel bagi paras kepekatan ^{222}Rn tahap rendah.	59
5.14	Perbandingan antara peratus butiran sampel min mengikut saiz butiran sampel bagi paras kepekatan ^{222}Rn tahap sederhana.	60
5.15	Perbandingan antara peratus butiran sampel min mengikut saiz butiran sampel bagi paras kepekatan ^{222}Rn tahap tinggi.	61
5.16	Perbandingan bilangan sampel tanah mengikut jenis tekstur tanah.	63
5.17	Perbandingan paras kepekatan ^{222}Rn min mengikut jenis tekstur tanah.	64
5.18	Perbandingan kelembapan relatif min mengikut jenis tekstur tanah.	65
5.19	Perbandingan peratus butiran sampel min mengikut jenis tekstur tanah.	66
5.20	Perbandingan bilangan sampel tanah mengikut jenis siri tanah.	68
5.21	Perbandingan paras kepekatan ^{222}Rn min mengikut jenis siri tanah.	69

5.22	Perbandingan kelembapan relatif min mengikut jenis siri tanah.	70
5.23	Perbandingan peratus butiran sampel min mengikut jenis siri tanah.	71
5.24	Perbandingan bilangan sampel tanah mengikut jenis formasi.	73
5.25	Perbandingan paras kepekatan ^{222}Rn min mengikut jenis formasi.	74
5.26	Perbandingan kelembapan relatif min mengikut jenis formasi.	75
5.27	Perbandingan peratus butiran sampel min mengikut jenis formasi.	76

SENARAI PLAT

	Muka surat
4.1 Auger tanah keras.	30
4.2 Auger tanah lembut.	30
4.3 Permukaan tanah yang dibersihkan.	31
4.4 Kedudukan auger di atas tanah.	31
4.5 Sampel tanah dimasukkan ke dalam plastik.	32
4.6 Lubang yang telah dikorek dengan menggunakan auger.	32
4.7 Pemantau ^{222}Rn .	34
4.8 Pengukur kelembapan.	35
4.9 Termometer.	35
4.10 Bekas sampel.	36
4.11 Bekas tertutup, radas dan sampel tanah.	37
4.12(a) Sampel tanah 11. Lokasi : Kg.Permatang Setar.	42
4.12(b) Sampel tanah 16. Lokasi : Kg.Permatang Tinggi.	42
4.12(c) Sampel tanah 17. Lokasi : Paya Keladi.	42
4.12(d) Sampel tanah 18. Lokasi : Kg.Permatang Durian.	42
4.12(e) Sampel tanah 19. Lokasi : Permatang Langsung.	42
4.12(f) Sampel tanah 43. Lokasi : Ladang Bertam (v).	42

SENARAI SINGKATAN

Nama	Definisi
AVG	Bacaan purata bagi paras kepekatan ^{222}Rn .
Bq/l	Bequerels per liter
Bq/m ³	Bequerels per meter padu
CRM	Pemantau ^{222}Rn berterusan.
CUR	Bacaan semasa bagi paras kepekatan ^{222}Rn .
cm	Sentimeter
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GIS	Sistem Maklumat Geografi
GPS	<i>Global Positioning System</i>
H ₂ O ₂	Hidrogen Peroksida
l	Liter
Kg.	Kampung
kg	Kilogram
mm	Milimeter
ml	Mililiter
NAS	<i>National Academy of Sciences</i>
Na ₂ CO ₃	Natrium karbonat
NaOH	Natrium hidroksida (<i>Sodium hydroxide</i>)
pCi/l	pikoCurie per liter
pCi/g	pikoCurie per gram
ppm	bahagian setiap juta (<i>parts per million</i>)
Sg.	Sungai
T	Timur
U	Utara
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
^{238}U	Uranium-238
^{234}Th	Torium-234
^{234}Pa	Protaktinium-234
^{234}U	Uranium-234

Nama	Definisi
^{230}Th	Torium-230
^{226}Ra	Radium-226
^{222}Rn	Radon-222
^{218}Po	Polonium-218
^{214}Pb	Plumbum-214
^{214}Bi	Bismut-214
^{214}Po	Polonium-214
^{210}Pb	Plumbum-210
^{210}Bi	Bismut-210
^{210}Po	Polonium-210

SENARAI SIMBOL

Nama	Definisi
$t_{1/2}$	Setengah Hayat
$^{\circ}\text{C}$	Darjah Celsius
α	Zarah alfa
β	Zarah beta
γ	Zarah gama
%	Peratus
>	Lebih daripada
<	Kurang daripada
\geq	Sama atau lebih daripada
\leq	Sama atau kurang daripada

SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR

- 1) Siti Aishah Ar. Azmi, M. S. Jaafar , Z. Z. T. Harith. (2006). Measurements and comparison of ^{222}Rn concentrations in sand, silt and clay samples in Seberang Perai Utara Area, Penang. *5th National Seminar on Medical Physics Proceeding*, 75 – 81.
- 2) Siti Aishah Ar. Azmi, Norhanna Sohaimi, M.S. Jaafar, Z. Z. T. Harith, Ramzun Maizan Ramli. (2005). Radon in agricultural soils. *4th National Seminar on Medical Physics Proceeding*.

PENGUKURAN DAN PERBANDINGAN PARAS KEPEKATAN ^{222}Rn DALAM TANAH MENGIKUT SIRI DAN TEKSTUR TANAH DI KAWASAN SEBERANG PERAI UTARA, PULAU PINANG

ABSTRAK

^{222}Rn adalah gas nadir radioaktif yang wujud secara tabii, berasal daripada pereputan uranium ^{238}U dalam batuan, tanah dan mineral. ^{222}Rn dan hasil pereputannya menyumbangkan hampir 50% dos sinaran tabii tahunan kepada populasi manusia. Objektif kajian ini adalah untuk mengukur paras kepekatan ^{222}Rn dalam sampel tanah khususnya pasir, lodak dan lempung dan mengaitkannya dengan kelembapan relatif dan saiz butiran tanah. Kajian ini turut mengukur paras kepekatan ^{222}Rn dalam 3 tahap paras kepekatan ^{222}Rn (risiko tinggi, risiko sederhana dan risiko rendah), 6 jenis tekstur tanah, 6 jenis siri tanah dan 3 jenis formasi. Sampel tanah diambil dari 111 lokasi di Seberang Perai Utara, Pulau Pinang pada kedalaman 30 cm dari permukaan tanah. Paras kepekatan ^{222}Rn diukur dengan menggunakan kaedah persampelan aktif berterusan. Kaedah ayakan dan kaedah pipet digunakan untuk menentukan analisis saiz butiran. Keputusan menunjukkan bahawa paras kepekatan ^{222}Rn dipengaruhi oleh kelembapan relatif dan saiz butiran tanah. Paras kepekatan ^{222}Rn adalah berjalut antara 1.2 pCi/l hingga 10.9 pCi/l. Paras kepekatan ^{222}Rn yang tertinggi adalah sampel yang diambil di kawasan Kg Ekor Kucing. Manakala, paras kepekatan ^{222}Rn yang terendah pula di lokasi Kg Paya Keladi. Terdapat korelasi positif di antara kelembapan relatif dan paras kepekatan ^{222}Rn dengan pekali korelasi bernilai 0.76. Terdapat juga korelasi positif di antara kandungan lempung dan paras kepekatan ^{222}Rn dengan pekali korelasi bernilai 0.21. Hubungan antara kandungan pasir dan paras kepekatan ^{222}Rn ditunjukkan oleh pekali korelasi negatif bernilai -0.22. Manakala keputusan menunjukkan tidak terdapat perhubungan antara kandungan lodak dan paras

kepekatan ^{222}Rn yang ditunjukkan oleh pekali korelasi bernilai 0.02. Keputusan menunjukkan, bagi julat paras kepekatan $^{222}\text{Rn} < 2$ pCi/l, paras kepekatan ^{222}Rn min adalah 1.6 pCi/l. Manakala, bagi julat paras kepekatan $^{222}\text{Rn} \geq 2$ pCi/l hingga < 4 pCi/l, dan ≥ 4 pCi/l, paras kepekatan ^{222}Rn min yang dicatatkan masing-masing adalah 2.9 pCi/l dan 6.1 pCi/l. Dapatan juga menunjukkan bahawa paras kepekatan ^{222}Rn min tertinggi bagi tekstur tanah dicatatkan oleh tanah bertekstur lempung berlodak iaitu 4.3 pCi/l, berbanding dengan sampel-sampel lain seperti lempung berpasir (4.2 pCi/l), lempung (4.1 pCi/l), lom lodak (3.7 pCi/l), lom lempung (2.8 pCi/l) dan lom berpasir (2.2 pCi/l). Paras kepekatan ^{222}Rn min tertinggi bagi siri tanah dicatatkan oleh siri Telemong-Akob-Local Aluvium iaitu 4.3 pCi/l. Keputusan lain menunjukkan siri Sogomana-Sitiawan-Manik (4.0 pCi/l), siri Sedu-Parit Botak-Linau (2.6 pCi/l), siri Chengai (4.1 pCi/l), siri Holyrood-Lunas (3.2 pCi/l) dan siri Kranji (2.1 pCi/l). Dapatan juga menunjukkan bahawa paras kepekatan ^{222}Rn min tertinggi bagi jenis formasi dicatatkan oleh Formasi Beruas mencatatkan paras kepekatan ^{222}Rn min tertinggi iaitu 4.3 pCi/l, manakala Formasi Gula mencatatkan paras kepekatan ^{222}Rn min terendah iaitu 3.5 pCi/l. Formasi Simpang pula mencatatkan paras kepekatan ^{222}Rn min sebanyak 3.8 pCi/l.

MEASUREMENT AND COMPARISON OF ^{222}Rn CONCENTRATION LEVELS IN SOILS ACCORDING TO SOIL TEXTURE AND SOIL SERIES IN THE NORTH SEBERANG PERAI AREA, PULAU PINANG

ABSTRACT

^{222}Rn is a naturally occurring radioactive noble gas, originating from the decay of uranium, ^{238}U , in rocks, soils and minerals. ^{222}Rn and its solid decay products are responsible for about 50% of the annual natural radiation dose of the population. The purpose of this study is to measure the ^{222}Rn concentration in soils especially sand, silt and clay samples and relate it to relative humidity and soil particle size. This study also measured the ^{222}Rn concentration in three levels of ^{222}Rn concentration (high risk, medium risk and low risk), 6 types of soil texture, 6 soil series and three geological formations. The soil samples were taken from 111 sites in the area of Seberang Perai Utara, Penang at 30 cm below the soil surface. The ^{222}Rn concentrations were measured using the continuous active sampling method. The particle size distribution of the soil was determined using the sieve and pipette methods. The study shows that the ^{222}Rn concentration is controlled by relative humidity and soil particle size. The ^{222}Rn concentration values vary from 1.2 pCi/l to 10.9 pCi/l. The highest level of ^{222}Rn concentration was found at Kg. Ekor Kucing area, while the lowest was from the Kg. Paya Keladi area. There is a positive correlation between relative humidity and ^{222}Rn concentration with a correlation coefficient value at 0.76. There is also a positive correlation between clay content and ^{222}Rn concentration with a correlation coefficient value at 0.21. The relation between sand content and ^{222}Rn concentration shown by negative correlation coefficient value at -0.22. Whereas the result show there is no relationship between silt content and ^{222}Rn concentration which shown by correlation value at 0.02. The results show that for ^{222}Rn concentration range of $< 2\text{pCi/l}$, the ^{222}Rn concentration mean was 1.6 pCi/l, whereas for ^{222}Rn concentration ranges of $\geq 2\text{ pCi/l}$

and < 4 pCi/l, and ≥ 4 pCi/l, the ^{222}Rn concentration means were 2.9 pCi/l and 6.1 pCi/l respectively. The results also show that the highest value of ^{222}Rn concentration mean in relation to soil texture, recorded by silty clay, was 4.3 pCi/l whereas the others were sandy clay (4.2 pCi/l), clay (4.1 pCi/l), silt loam (3.7 pCi/l), clay loam (2.8 pCi/l) and sandy loam (2.2 pCi/l). The highest value of ^{222}Rn concentration mean in relation to soil series was recorded by the Telemong-Akob-Local Aluvium series at 4.3 pCi/l. Other findings were for the Sogomana-Sitiawan-Manik series (4.0 pCi/l), Sedu-Parit Botak-Linau series (2.6 pCi/l), Chengai series (4.1 pCi/l), Holyrood-Lunas series (3.2 pCi/l) and Kranji series (2.1 pCi/l). The results also show that the highest value of ^{222}Rn concentration mean in relation to formations was recorded by Beruas Formation (4.3 pCi/l), whereas the Gula Formation show the lowest value of ^{222}Rn concentration mean (3.5 pCi/l). The Simpang Formation had a ^{222}Rn concentration mean of about 3.8 pCi/l.

BAB 1

PENGENALAN

1.0 Pengenalan

^{222}Rn adalah tidak berwarna, tiada bau, yang terhasil secara semulajadi melalui proses pereputan ^{238}U yang berlaku dalam kebanyakan batuan dan tanah dengan paras kepekatan antara 1 ppm hingga 4 ppm. Kebanyakan batuan dan tanah tanih di kerak bumi mengandungi ^{238}U . Dianggarkan sebanyak 99.3 % uranium adalah isotop ^{238}U yang mempunyai setengah hayat yang sangat panjang iaitu 4.5 bilion tahun (Spencer, 1992). ^{222}Rn dan hasil pereputannya menyumbangkan hampir 50 % dedahan radioaktif kepada populasi manusia (UNSCEAR, 1988).

National Academy of Sciences (NAS) di Amerika Syarikat telah melaporkan pada tahun 1999, penyumbang kedua terbesar bagi kanser peparu selepas tabiat merokok yang berlebihan adalah pendedahan terhadap ^{222}Rn dalam bangunan. Di samping itu, NAS juga menganggarkan sebanyak 15,000–22,000, warganegara Amerika meninggal dunia pada setiap tahun disebabkan kanser peparu yang berpunca daripada ^{222}Rn (EPA, 2004). ^{222}Rn tidak bertindak balas secara kimia dengan bahan-bahan lain, hal ini menyebabkan ^{222}Rn dapat bergerak bebas melalui batuan dan tanah tanih sehingga sampai ke permukaan. Walaupun paras kepekatan ^{222}Rn di luar bangunan adalah rendah iaitu dalam anggaran sebanyak 0.4 pCi/l, namun ia boleh meresap masuk ke dalam bangunan melalui retakan atau bukaan dasar bangunan sehingga menyebabkan paras kepekatan ^{222}Rn dalam bangunan tersebut menjadi tinggi (EPA, 2004).

Pelbagai kajian berkaitan dengan pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn telah dijalankan di kebanyakan negara seperti Amerika Syarikat, United Kingdom dan Jerman. Tujuan kajian tersebut dijalankan adalah untuk mengenalpasti punca bahaya yang disebabkan

oleh ^{222}Rn dan hasil pereputannya. Kajian tersebut melibatkan beberapa parameter seperti tanah dan batuan, bahan binaan, bangunan dan air dengan matlamat untuk mengurangkan kejadian kanser peparu di kalangan masyarakat.

1.1 Kajian Literatur

Banyak pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn dalam tanah telah dijalankan seperti kajian Andam (1992), Segovia *et al.* (1995), Shweikani *et al.* (1995), Menetrez & Mosley (1996), Segovia *et al.* (1996), Singh & Virk, (1996), Al-Bataina *et al.* (1997), Durrani *et al.* (1997), Dueñas *et al.* (1997), Talbot *et al.* (1998), Durrani (1999), Jönsson *et al.* (1999), Denagbe (2000), Baixeras (2001), Jönsson (2001), Khayrat *et al.* (2001), Ruckerbauer & Winkler (2001), Wiegand (2001), Chauhan & Chakarvarti (2002), Fujiyoshi *et al.* (2002), Vaupotič *et al.* (2002), Zmazek *et al.* (2002), Bossew (2003), Negarestani *et al.* (2003), Sun *et al.* (2004), Kullab (2005), Yamazawa *et al.* (2005), Imme *et al.* (2006) dan Richon *et al.* (2007). Didapati perubahan paras kepekatan ^{222}Rn dalam tanah adalah disebabkan oleh pelbagai faktor seperti variasi paras kepekatan ^{226}Ra , ketertelapan tanah, kehomogenan atau keseragaman penyebaran ^{226}Ra , ketumpatan tanah, saiz butiran tanah, jenis tanah dan kandungan kelembapan tanah.

Selain itu, bagi pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn dalam bahan binaan dan bangunan pula, terdapat banyak kajian yang dijalankan mengenainya seperti kajian Baixeras *et al.* (1991), Nsibande *et al.* (1994), Annanmaki *et al.* (1996), Gardiner *et al.* (1996), Mahat *et al.* (1998), Espinosa *et al.* (1999), Dwivedi *et al.* (2001), Popit & Vaupotič (2002), Vaupotič *et al.* (2002), Khayrat *et al.* (2003), Magalhães *et al.* (2003), Shaikh *et al.* (2003), Chauhan *et al.* (2003), Tan & Hu (2003), Chougankar *et al.* (2004), (2004), Orlando *et al.* (2004), Sundal *et al.* (2004), Da Silva & Yoshimura (2005), Espinosa *et al.* (2005), Gillmore *et al.* (2005), Kullab (2005), Kovler (2006), Denman *et*

al. (2007) dan Gervino *et al.* (2007). Kebanyakan kajian menunjukkan bahawa paras kepekatan ^{222}Rn yang tinggi dalam kediaman, sekolah dan pejabat bergantung kepada geologi kawasan, struktur bangunan, keadaan iklim, pengudaraan dalam bangunan tersebut dan kehadiran habuk dan aerosol. Secara umumnya, paras kepekatan ^{222}Rn dalam sesebuah bangunan menjadi lebih tinggi berbanding dengan paras kepekatan ^{222}Rn di kawasan luar bangunan kerana tekanan udara di dalam bangunan adalah kurang berbanding udara di luar. Oleh itu, ^{222}Rn terkumpul dalam kawasan tertutup tersebut sehingga mencapai paras kepekatan ^{222}Rn yang lebih tinggi daripada di kawasan luar bangunan (Nero & Nazaroff, 1984; Tommasino, 1995; Scivyer & Woolliscroft, 1996).

Terdapat juga kajian yang melibatkan pemetaan paras kepekatan ^{222}Rn yang menggunakan Sistem Maklumat Geografi (GIS) yang dijalankan di beberapa buah negara seperti United Kingdom (Gundersen & Schumann, 1996), Jerman (Kemski *et al.*, 1996), Belgium (Zhu *et al.*, 2001) dan Perancis (Ielsch *et al.*, 2002). GIS adalah suatu program komputer yang digunakan untuk mendigitalkan, memproses, mengintegrasikan dan menyelaraskan maklumat-maklumat yang berkaitan dengan pemetaan paras kepekatan ^{222}Rn seperti kedudukan pemantau ^{222}Rn , butiran terperinci tentang kediaman tersebut seperti alamat kediaman, sistem pemanasan, kitaran udara dan beberapa faktor-faktor lain yang mempengaruhi paras kepekatan ^{222}Rn (Zhu *et al.*, 2001).

Setelah semua maklumat yang diperolehi diproses, maka paras kepekatan ^{222}Rn bagi kawasan tersebut dikategorikan kepada 3 kawasan iaitu kawasan berisiko rendah, berisiko sederhana dan berisiko tinggi (Zhu *et al.*, 2001). Selain itu, maklumat yang berkaitan dengan jenis tanah, jenis geologi, kandungan ^{238}U dalam tanah dan batuan dasar, keliangan tanah dan batuan serta paras kepekatan ^{222}Rn dalam kediaman juga dikumpulkan (Shirav (Schwartz) & Vulkan, 1997).

Shweikani *et al.* (1995) telah mengkaji kesan kandungan kelembapan tanah, keliangan tanah dan saiz butiran terhadap peresapan ^{222}Rn melalui tanah pada kedalaman lebih kurang 50 cm daripada permukaan tanah. Didapati peresapan kepekatan ^{222}Rn berkurangan secara eksponen dengan peningkatan ketebalan tanah. Pekali peresapan ^{222}Rn melalui tanah menurun dengan pertambahan kandungan kelembapan dan bertambah dengan peningkatan keliangan tanah. Pekali peresapan ^{222}Rn melalui tanah didapati berkurangan dengan peningkatan kandungan kelembapan dan bertambah dengan peningkatan keliangan. Keputusan juga menunjukkan bahawa peresapan ^{222}Rn daripada tanah berkurangan dengan peningkatan saiz butiran. Hal ini disebabkan oleh semakin besar saiz butiran tanah, maka nisbah bagi permukaan butiran terhadap isipadunya menjadi lebih kecil dan seterusnya keadaan ini menyebabkan penurunan bagi kuasa emanasi ^{222}Rn .

Kajian Singh & Virk (1996) mendapati hubungan antara peresapan ^{222}Rn daripada tanah dan pasir kandungan kelembapan bagi tanah tersebut dengan menggunakan pengesan tergores trek plastik (LR-115 type II). Keputusan menunjukkan apabila kandungan peratus air dalam tanah dan pasir meningkat daripada keadaan kering ke 21 % dan 26 %, paras kepekatan ^{222}Rn berkurangan dengan perlahan iaitu dari 295 Bq/l hingga 250 Bq/l dan dari 315 Bq/l hingga 240 Bq/l. Selepas itu, paras kepekatan ^{222}Rn didapati berkurang dengan mendadak menjadi 27 Bq/l and 50 Bq/l apabila tanah dan pasir menjadi tepu, iaitu dengan kandungan air adalah sebanyak 25 % dan 40 %. Kadar resapan dalam tanah didapati menjadi berkurangan dengan peningkatan kandungan kelembapan adalah terendah apabila menghampiri keadaan tepu.

Menetrez & Mosley (1996) telah membina ruang EPA berdimensi 2 m x 2 m x 4 m untuk mengkaji perolakan dan peresapan bagi pergerakan gas tanah. Pengukuran bagi pekali emanasi dan peresapan ^{222}Rn dalam tanah yang diletakkan di dalam ruang EPA turut dijalankan dengan menggunakan kandungan kelembapan dalam julat yang luas.

Beberapa parameter seperti paras kepekatan ^{226}Ra dan ^{222}Rn , kelembapan, ketumpatan, unsur tanah, dan tindakbalas fizikal terhadap variasi tekanan telah diketahui. Kadar emanasi ^{222}Rn amat dipengaruhi oleh kandungan kelembapan tanah. Oleh itu, kandungan kelembapan tanah dalam ruang EPA adalah berbeza-beza dengan kedalaman, iaitu daripada keadaan tepu di dasar ruang hingga untuk hampir kering di bahagian atas. Keputusan menunjukkan terdapat perbezaan bagi paras kepekatan ^{222}Rn dalam ruang EPA tersebut, iaitu daripada 7.4 kBq m^{-3} berdekatan dengan permukaan tanah hingga 86.2 kBq m^{-3} di bahagian dasar ruang tersebut.

Dueñas *et al.* (1997) telah menjalankan pengukuran bagi pembebasan ^{222}Rn daripada pelbagai jenis tanah di kawasan sekitar Málaga, Sepanyol. Pengukuran tersebut melibatkan dua kaedah. Kaedah terus menggunakan teknik kebuk statik dan kaedah tak terus pula menggunakan teknik pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn dalam gas tanah. Di samping itu, kesan perubahan meteorologi dan parameter lain juga turut dikaji. Keputusan menunjukkan faktor yang mempengaruhi pembebasan ^{222}Rn dalam tanah adalah kelembapan dan kecerunan suhu tanah. Selain itu, didapati pengukuran kadar pengeluaran ^{222}Rn di kawasan kajian adalah lebih tinggi berbanding dengan kadar pengeluaran ^{222}Rn yang didapati daripada kaedah tak terus.

Abumurad *et al.* (1997) telah menjalankan pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn dalam tanah yang terdiri daripada jenis yang berbeza di kawasan utara Jordan pada kedalaman yang berbeza-beza iaitu 0 cm, 25 cm, 50 cm, 75 cm dan 100 cm. Dosimeter pasif masa bersepadu telah ditempatkan di 8 stesen yang terletak dalam wilayah Irbi. Didapati paras kepekatan ^{222}Rn dalam tanah meningkat secara eksponen dengan peningkatan kedalaman. Pada kedalaman tertentu, paras kepekatan ^{222}Rn bagi jenis tanah yang berbeza didapati bergantung pada ciri-ciri kimia dan fizikal tanah serta keadaan tanah tersebut. Pada kedalaman 100 cm, paras kepekatan ^{222}Rn berjulat antara 4000 Bq m^{-3} dalam batu kapur hingga $4 \times 10^5 \text{ Bq m}^{-3}$ dalam marl berkapur. Kebanyakan kawasan kajian menunjukkan paras kepekatan ^{222}Rn yang

rendah. Namun begitu pada stesen 6 dan stesen 7 yang dicirikan dengan batuan fosfat dan tanah marl berkapur menunjukkan kadar pembebasan ^{222}Rn tertinggi. Oleh itu, kawasan Kufr Rahta dan kawasan yang berada sekitar stesen 6 dan 7 mempunyai potensi paras kepekatan tinggi bagi ^{222}Rn dalam bangunan.

Khayrat *et al.* (2001) telah mengkaji perkaitan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan taburan saiz butiran tanah. Pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn tersebut telah dijalankan di kawasan yang terdiri daripada batu kapur yang berusia Karbon di selatan Buxton di Derbyshire, England, menggunakan teknik tin. Bagi menentukan taburan saiz butiran tanah, di setiap lokasi kajian, satu sampel tanah dikeluarkan dari bahagian dasar lubang yang telah diletakkan dosimeter. Keputusan kajian menunjukkan hubungan antara nilai-nilai mentah paras kepekatan ^{222}Rn , taburan saiz butiran tanah dan ketinggian adalah lemah. Walaubagaimanapun, kriged peta-peta ^{222}Rn , lodak, lempung dan ketinggian menunjukkan terdapatnya perkaitan terutama perkaitan antara paras kepekatan ^{222}Rn dan ketinggian.

Baixeras (2001) telah membuat pengukuran bagi emanasi gas ^{222}Rn dalam beberapa sampel tanah di kawasan Lund yang terletak di Sweden dan di kawasan Barcelona yang terletak di Sepanyol. Kandungan ^{238}U dalam tanah diukur dengan menggunakan spektrometri sinar gama. Sementara itu, pengukuran ^{222}Rn dilakukan dengan menggunakan filem plastik jenis Kodak dalam tin bertutup yang diisi dengan tanah menggunakan teknik yang dihasilkan bagi pengukuran ^{222}Rn dalam sampel air. Keputusan menunjukkan kombinasi antara saiz butiran tanah dan kandungan ^{238}U adalah penting bagi emanasi gas ^{222}Rn daripada butiran tanah.

Fujiyoshi *et al.* (2002) telah menjalankan pengukuran ^{222}Rn dalam tanah di 3 tapak kajian di kampus Universiti Hokkaido di Sapporo, Jepun. Dalam kajian ini, beberapa faktor yang mempengaruhi paras kepekatan ^{222}Rn telah dikaji, antaranya adalah data meteorologi, kandungan ^{226}Ra dalam tanah, komposisi mineral, kandungan air dan

kekonduksian. Didapati ^{222}Rn tanah adalah berbeza-beza dengan masa dan dengan tapak kajian. Walaubagaimanapun, nisbah isotop ^{222}Rn ($^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$) dalam tanah adalah malar di setiap tapak kajian, paras kepekatan bagi nuklid ini diabaikan sepanjang tempoh pemantauan. Salji yang menutupi permukaan tanah berkemungkinan menjejaskan paras kepekatan ^{222}Rn .

Yamazawa *et al.* (2005) telah menjalankan dua eksperimen dalam kajiannya iaitu peresapan ^{222}Rn dalam tanah beku dijalankan dalam makmal dan pengukuran bagi pembebasan ^{222}Rn daripada permukaan tanah yang dilitupi salji yang dijalankan di lapangan. Keputusan menunjukkan apabila tanah membeku, pekali resapan berkesan berkurangan dengan faktor 2. Kehadiran salji yang melitupi permukaan tanah mengurangkan pembebasan ^{222}Rn kepada beberapa peratus berbanding dengan musim-musim yang ketiadaan salji. Keadaan yang basah pada antara muka tanah dengan salji telah menyebabkan pengurangan bagi pembebasan ^{222}Rn tersebut. Kedalaman salji lebih kurang 1.2 m telah mengurangkan ketumpatan fluks sebanyak 20 % hingga 30 %.

Malczewski & Zaba (2007) telah menjalankan pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn dan ^{220}Rn di 18 lokasi terpilih di kawasan Karkonoszeelzera Block di barat daya Poland. Pengukuran tersebut dijalankan dalam udara permukaan dan di lapangan pada kedalaman 10 cm, 40 cm dan 80 cm. Keputusan menunjukkan paras kepekatan ^{222}Rn berjulat antara 4 Bqm^{-3} hingga 2160 Bqm^{-3} , manakala paras kepekatan ^{220}Rn berjulat antara 4 Bqm^{-3} hingga 228 Bqm^{-3} . Bagi kedalaman 10 cm dan 40 cm, didapati paras kepekatan ^{222}Rn berjulat antara 142 Bqm^{-3} hingga 801 Bqm^{-3} , manakala paras kepekatan ^{220}Rn berjulat antara 102 Bqm^{-3} hingga 64 Bqm^{-3} . Seterusnya, bagi kedalaman 80 cm, paras kepekatan ^{222}Rn berjulat antara 94 Bqm^{-3} hingga $> 1 \text{ MBqm}^{-3}$, manakala paras kepekatan ^{220}Rn berjulat antara 45 Bqm^{-3} hingga 48 Bqm^{-3} . Terdapat perbezaan antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan kedalaman di kawasan zon sesar, timbunan ^{238}U atau kedua-duanya. Selain itu, bagi hubungan antara suhu udara

atmosfera dengan paras kepekatan bagi ^{222}Rn dan ^{220}Rn menunjukkan korelasi negatif. Di kawasan kajian yang bercerun curam, didapati paras kepekatan ^{220}Rn berkurang dengan kedalaman.

Mahat *et al.* (1998) telah menjalankan pengukuran masa berterusan ^{222}Rn dalam bangunan yang terletak di tingkat bawah tanah di bangunan Fizik Universiti Malaya di Malaysia. Keluasan bilik tersebut adalah 6.5 m x 6.0 m x 3.0 m. Pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn dilakukan secara berterusan dengan menggunakan monitor ^{222}Rn jenis halangan permukaan keluaran *Honeywell*. Kelembapan relatif dan suhu bilik juga direkodkan. Didapati paras kepekatan ^{222}Rn tertinggi adalah pada awal pagi sebelum terbit matahari, manakala paras kepekatan ^{222}Rn terendah adalah pada waktu petang sebelum matahari terbenam. Paras kepekatan ^{222}Rn juga dipengaruhi oleh suhu di luar bangunan terutama pada waktu siang. Terdapat korelasi songsang antara paras kepekatan ^{222}Rn dengan suhu bilik kecuali pada suhu hampir minimum.

Khayrat *et al.* (2003) telah menjalankan pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn ke atas 240 kediaman di wilayah Yaman. Monitor ^{222}Rn yang telah digunakan adalah CR-39. Tujuan kajian tersebut adalah untuk menentukan paras kepekatan ^{222}Rn dalam bangunan bagi tiga kawasan iaitu Dhamar, Taiz dan Hodeidah yang terletak pada altitud berbeza atas aras laut. Paras kepekatan ^{222}Rn di kawasan tersebut berjulat antara 3 Bqm⁻³ hingga 270 Bqm⁻³ dengan paras kepekatan ^{222}Rn min adalah 42 Bqm⁻³. Didapati paras kepekatan ^{222}Rn min di kawasan kajian meningkat dengan peningkatan altitud. Paras kepekatan ^{222}Rn min tertinggi adalah 59 Bqm⁻³ di bandar Dhamar, manakala paras kepekatan ^{222}Rn min terendah adalah 8 Bqm⁻³ di bandar Hodeidah. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pengudaraan di kawasan beraltitud lebih tinggi yang biasanya mempunyai suhu yang lebih rendah. Pada aras laut, paras kepekatan ^{222}Rn adalah rendah disebabkan pengudaraan yang baik kerana tingkap di kawasan kediaman sentiasa dibuka setiap masa disebabkan oleh iklim yang panas.

1.2 Objektif kajian

Kajian yang dijalankan ini adalah berkaitan dengan pengukuran dan perbandingan paras kepekatan ^{222}Rn dalam tanah mengikut siri dan tekstur tanah di kawasan Seberang Perai Utara di Pulau Pinang. Objektif kajian yang dilakukan ini adalah:

- a) Mendapatkan dan membandingkan nilai paras kepekatan ^{222}Rn bagi saiz butiran tanah iaitu pasir, lodak dan lempung dan mengaitkannya dengan kandungan kelembapan relatif bagi tanah tersebut.
- b) Mendapatkan nilai paras kepekatan ^{222}Rn bagi tiga tahap paras kepekatan ^{222}Rn iaitu tahap rendah ($< 2\text{ pCi/l}$), tahap sederhana ($\geq 2\text{ pCi/l}$ dan $< 4.0\text{ pCi/l}$) dan tahap tinggi ($\geq 4\text{ pCi/l}$).
- c) Mendapatkan nilai paras kepekatan ^{222}Rn yang terdapat di dalam beberapa jenis tekstur tanah seperti lom berpasir, lempung, lempung berpasir, lom lempung, lempung berlodak dan lom lodak.
- d) Mendapatkan nilai paras kepekatan ^{222}Rn min bagi setiap siri tanah, iaitu siri Sogomana-Sitiawan-Manik, siri Sedu-Parit Botak-Linau, siri Chengai, siri Holyrood-Lunas, siri Telemong-Akob-Local Alluvium dan siri Kranji yang terdapat di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.
- e) Mendapatkan nilai paras kepekatan ^{222}Rn bagi beberapa jenis formasi iaitu Formasi Beruas, Formasi Simpang dan Formasi Gula yang terdapat di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.

1.3 Rangka tesis

Bab 2 berikut menerangkan teori berkenaan dengan ^{222}Rn dan tanah yang berkaitan dengan kajian ini. Manakala, bab 3 menunjukkan lokasi kawasan kajian dan koordinat bagi sampel-sampel tanah yang diambil di kawasan kajian. Seterusnya, bab 4 menjelaskan bahan dan kaedah yang digunakan dalam kajian ini iaitu teknik kerja lapangan, teknik pengukuran paras kepekatan ^{222}Rn dan teknik analisis saiz butiran tanah.

Bab 5 menghuraikan keputusan yang diperolehi dalam kajian ini. Beberapa parameter yang terlibat dikaji, dianalisis dan dibincangkan. Akhirnya, bab 6 memberi kesimpulan bagi hasilan yang diperolehi dalam kajian ini. Beberapa cadangan bagi kajian masa depan juga dibincangkan dalam bab ini.

BAB 2

TEORI TENTANG ^{222}Rn DAN KAITANNYA DENGAN TANAH

2.0 Pengenalan

Bab ini menerangkan teori asas bagi ^{222}Rn iaitu mekanisme bagi emanasi ^{222}Rn dan pengangkutan ^{222}Rn , siri reputan ^{238}U dan rantai pereputan isotop ^{222}Rn , unit pengukuran ^{222}Rn dan kesan ^{222}Rn kepada kesihatan. Selain itu, teori tanah juga diterangkan khususnya ciri-ciri fizikal tanah iaitu tekstur tanah.

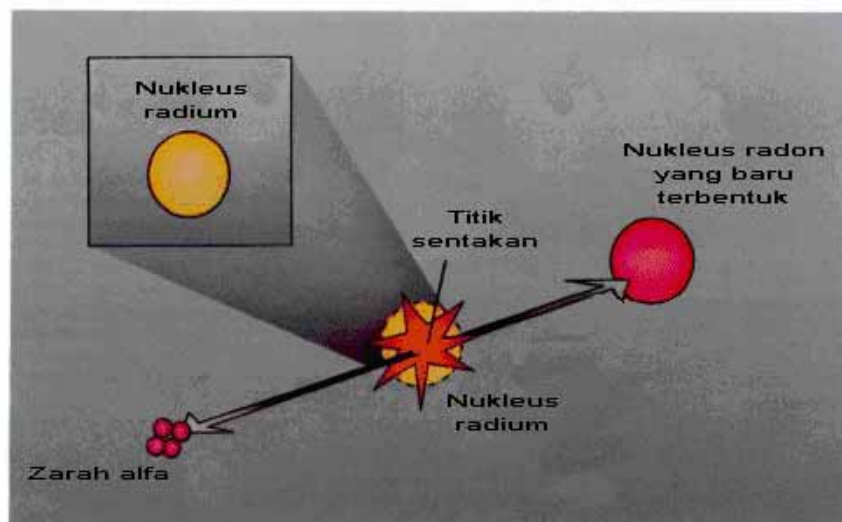
2.1 ^{222}Rn

^{222}Rn telah ditemui oleh Friedrich Ernst Dorn, seorang ahli kimia Jerman dalam tahun 1900 semasa mengkaji rantai pereputan radium (EPA, 2004). Pada awalnya, ^{222}Rn dikenali sebagai *niton* yang diambil daripada perkataan Latin *nitens* yang bermaksud berkilau dan kemudiannya dikenali sebagai ^{222}Rn pada tahun 1923. ^{222}Rn adalah suatu gas radioaktif yang terhasil secara semulajadi melalui proses pereputan ^{238}U . Setengah hayat, ($t_{1/2}$) ^{222}Rn adalah 3.82 hari.

^{222}Rn dikelaskan sebagai gas nadir kerana tidak bertindak balas secara kimia dengan unsur-unsur kimia yang lain. Pada suhu dan tekanan bilik, ^{222}Rn tidak berwarna dan tidak berbau. Tetapi apabila didinginkan sehingga membeku, ^{222}Rn akan berwarna kuning, manakala cecair ^{222}Rn berwarna merah jingga. ^{222}Rn mempunyai takat lebur, takat didih, suhu kritikal dan tekanan kritikal yang tinggi jika dibandingkan dengan semua gas lengai yang lain. Takat didih bagi gas ini ialah -62°C dan takat leburnya pula ialah -71°C . Keadaan ini menyebabkan ^{222}Rn wujud sebagai gas pada suhu bilik dan ia bebas bergerak dalam bentuk gas di udara.

Kebanyakan batuan dan tanah tanih di kerak bumi mengandung ^{238}U . ^{222}Rn biasanya ditemui berkepekatan rendah dalam kebanyakan batuan dan tanah dan dapat bergerak bebas melalui batuan dan tanah sehingga sampai ke permukaan. Oleh itu, subtanah merupakan sumber utama ^{222}Rn dalam udara (Nero & Nazaroff, 1984).

Proses pereputan ^{226}Ra kepada ^{222}Rn membebaskan satu zarah- α yang mengandungi dua neutron dan dua proton daripada nukleusnya. Zarah- α tersebut bertenaga tinggi dan semasa dibebaskan, zarah- α tersebut kelihatan seperti sebutir peluru yang ditembak dari sepucuk pistol. Mematuhi kepada hukum fizik, atom ^{222}Rn yang baru terbentuk akan tersentak dalam keadaan yang sama seperti sepucuk pistol yang tertolak ke belakang apabila sebutir peluru ditembak (Rajah 2.1).

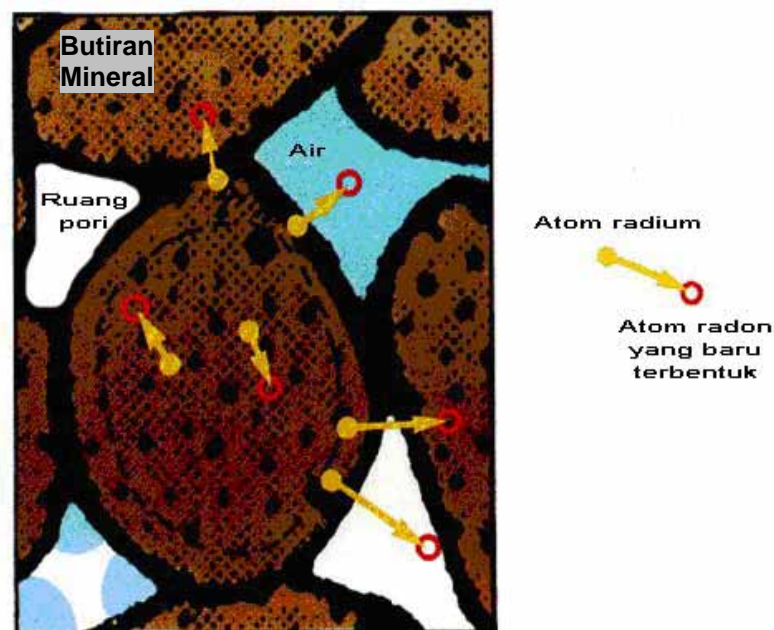


Rajah 2.1: Proses pembentukan atom ^{222}Rn . (Sumber: *U.S. Geological Survey*, 1995).

Namun begitu, lokasi atom ^{226}Ra dalam butiran mineral memainkan peranan yang penting dalam menentukan sama ada atom ^{222}Rn yang baru terbentuk boleh memasuki ruang pori antara butiran tersebut atau terbenam di dalam butiran mineral tersebut. Atom ^{222}Rn yang baru terbentuk boleh memasuki ruang pori atau rekahan pada batu apabila sentakan tersebut berlaku pada atom ^{226}Ra yang terletak berdekatan permukaan yang mengarah ke permukaan butiran. Jika atom ^{226}Ra tersebut berada

pada bahagian dalam bagi satu butiran besar, dan arah sentakan diabaikan, didapati atom ^{222}Rn tersebut tidak terbebas dan kekal berada di dalam mineral tersebut. Begitu juga keadaannya bagi atom ^{226}Ra yang terletak berdekatan dengan permukaan butiran tersebut, atom ^{222}Rn berada jauh ke dalam mineral sekiranya arah sentakan adalah mengarah ke teras butiran (Rajah 2.2).

Sentakan yang berlaku pada atom ^{222}Rn adalah agak kuat. Biasanya atom ^{222}Rn yang memasuki ruang pori bergerak terus melalui ruang pori dan terbenam berdekatan dengan butiran mineral. Sekiranya terdapat air yang hadir dalam ruang pori, pergerakan atom ^{222}Rn menjadi perlahan dengan cepat dan berkemungkinan terus berada dalam ruang pori tersebut.



Rajah 2.2: Proses pergerakan atom ^{222}Rn semasa pereputan atom ^{226}Ra .
(Sumber: U.S. Geological Survey, 1995).

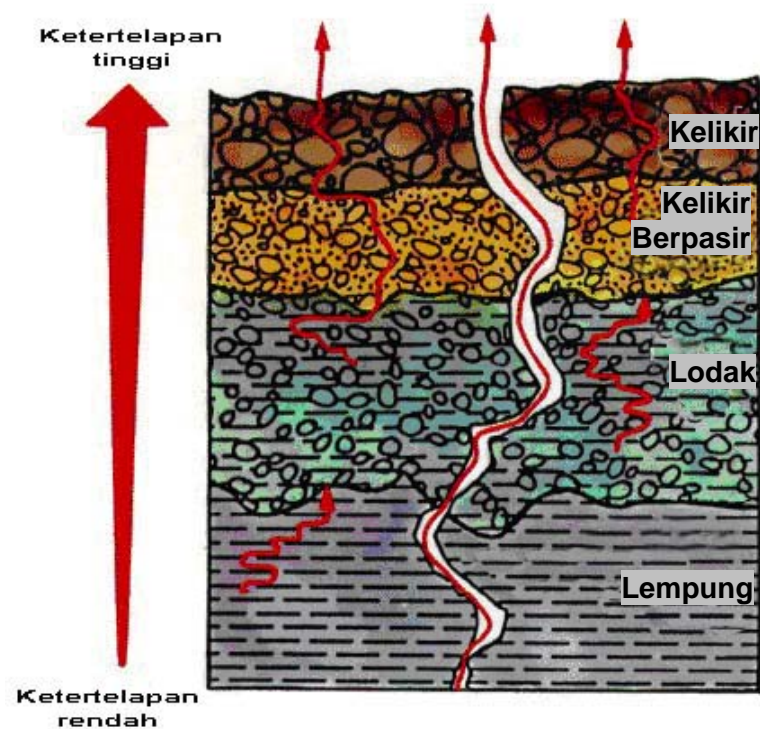
2.1.1. Mekanisme emanasi dan pengangkutan ^{222}Rn dalam tanah

Pembebasan ^{222}Rn daripada tanah melibatkan dua mekanisme iaitu emanasi dan pengangkutan yang banyak dipengaruhi oleh pelbagai faktor termasuk ciri-ciri tanah (Shweikani *et al.*, 1995). Emanasi adalah proses yang mengawal pergerakan atom ^{222}Rn daripada dalam butiran mineral ke dalam ruang pori tanah (Martino *et al.*, 1998). Sebahagian daripada atom ^{222}Rn yang dibebaskan ke dalam batuan atau ruang pori butiran tanah dinyatakan dalam istilah, pekali emanasi ^{222}Rn dan sebahagian besar daripadanya dipengaruhi oleh saiz butiran dan kandungan kelembapan tanah (Schumann *et al.*, 1996).

Pengangkutan ^{222}Rn berlaku dalam perhubungan antara ruang pori yang secara umumnya mengarah ke permukaan tanah. Proses tersebut melibatkan dua mekanisme, iaitu peresapan dan alir lintang (Van der Graaf *et al.*, 1998). Proses peresapan berlaku disebabkan terdapat kecerunan paras kepekatan ^{222}Rn dan sering ditaksirkan sebagai pekali resapan. Faktor utama yang mempengaruhi peresapan ^{222}Rn dalam tanah adalah ciri-ciri tanah seperti keliangan tanah dan kelembapan tanah. Manakala proses alir lintang pula berlaku apabila wujud perbezaan tekanan antara udara yang terdapat dalam ruang pori dengan permukaan tanah (Li, 2000). Faktor utama yang mempengaruhi proses alir lintang adalah ketertelapan tanah.

Merujuk Rajah 2.3, ^{222}Rn bergerak lebih cepat melalui tanah yang telap atau yang berongga seperti pasir kasar dan kelikir berbanding dengan tanah yang padat seperti lempung. Rekahan dalam tanah atau batuan menyebabkan ^{222}Rn bergerak dengan lebih cepat. Terdapat juga beberapa atom ^{222}Rn terperangkap dalam tanah dan seterusnya mengalami pereputan dan membentuk ^{210}Pb sementara yang lain terbebas ke dalam udara.

^{222}Rn yang berada dalam air bergerak lebih perlahan daripada ^{222}Rn dalam udara. Oleh sebab air cenderung untuk mengalir perlahan melalui ruang pori tanah dan rekahan batuan daripada di udara, maka pergerakan ^{222}Rn adalah pada jarak yang pendek dalam tanah lembap berbanding dengan tanah kering sebelum ^{222}Rn tersebut mengalami pereputan. Oleh itu, kediaman di kawasan yang kering, mempunyai tanah dan batuan dasar yang berketertelapan tinggi berkemungkinan mempunyai paras kepekatan ^{222}Rn yang tinggi di dalam bangunan.



Rajah 2.3: Mekanisme emanasi dan pengangkutan ^{222}Rn dalam tanah.
(Sumber: U.S. Geological Survey, 1995).

2.1.2 Siri reputan ^{238}U dan rantaian pereputan isotop ^{222}Rn

Jadual 2.1 menunjukkan siri pereputan ^{238}U . Siri pereputan ini bermula daripada ^{238}U sebagai induk dan pereputan ^{238}U merupakan permulaan bagi 14 siri pereputan lain yang berakhir dengan isotop stabil, iaitu ^{206}Pb . Terdapat 8 pereputan zarah- α dan 6 pereputan zarah- β di dalam siri ini. Proses pereputan bagi setiap isotop tersebut menghasilkan nukleus anak. Bagi nukleus anak yang tidak stabil, ia dipanggil nukleus anak pertengahan. ^{226}Ra dan ^{222}Rn merupakan nukleus anak pertengahan dalam siri pereputan ^{238}U .

Jadual 2.1: Siri pereputan ^{238}U . (Sumber: Littlefield & Thorley, 1977).

Isotop	Simbol	Setengah hayat, ($t_{1/2}$)	Pancaran
Uranium-238	^{238}U	4.5×10^9 tahun	α , γ
Torium-234	^{234}Th	24 hari	β , γ
Protaktinium-234	^{234}Pa	1.2 minit	β , γ
Uranium-234	^{234}U	2.5×10^5 tahun	α , γ
Torium-230	^{230}Th	8.0×10^4 tahun	α , γ
Radium-226	^{226}Ra	1620 tahun	α , γ
Radon-222	^{222}Rn	3.82 hari	α
Polonium-218	^{218}Po	3.05 minit	α
Plumbum-214	^{214}Pb	26.8 minit	β , γ
Bismut-214	^{214}Bi	19.7 minit	β , γ
Polonium-214	^{214}Po	160 μ saat	α
Plumbum-210	^{210}Pb	22.3 tahun	β , γ
Bismut-210	^{210}Bi	5.0 hari	β
Polonium-210	^{210}Po	138 hari	α
Plumbum-206	^{206}Pb	Stabil	-

Siri pereputan ^{238}U menghasilkan ^{226}Ra setelah melalui beberapa peringkat. Kemudian ^{226}Ra mereput kepada ^{222}Rn dan diikuti dengan pereputan ^{222}Rn kepada ^{218}Po ($t_{1/2}=3$ minit) yang membebaskan zarah- α . Seterusnya siri pereputan ini berterusan sehingga menghasilkan ^{214}Pb , ^{214}Bi dan ^{214}Po . Kemudiannya proses pereputan tersebut menjadi perlahan dengan mengambil masa beberapa tahun untuk menjadi ^{210}Pb , ^{210}Bi dan ^{210}Po sehingga terhasilnya ^{206}Pb yang stabil. Dalam siri pereputan ini, pereputan ^{222}Rn kepada ^{218}Po ($t_{1/2}=3.05$ minit) dan ^{214}Po ($t_{1/2}=1.5 \times 10^{-4}$ saat) mempunyai tempoh setengah hayat yang singkat dan tenaga zarah- α yang terbebas semasa pereputan ^{218}Po dan ^{214}Po adalah 6.0 MeV dan 7.7 MeV. Keradioaktifan bagi keduanya adalah tinggi.

2.1.3 Unit pengukuran ^{222}Rn

Unit SI yang digunakan bagi pengukuran ^{222}Rn adalah Bq/m^3 . Namun begitu, biasanya paras kepekatan ^{222}Rn diukur dalam unit pCi/l dalam udara dan air, di mana satu pCi/l bersamaan dengan 37 Bq/m^3 . Bagi paras ^{222}Rn dalam pepejal, ia diukur dalam unit pCi/g .

2.1.4 Kesan ^{222}Rn kepada kesihatan

Sinaran daripada ^{222}Rn dan anak-anak ^{222}Rn dianggap memberikan sumbangan penting terhadap peningkatan kejadian kanser peparu di kalangan pelombong uranium dan orang ramai. Selain itu, ^{222}Rn juga dikenali sebagai bahaya geologi yang bermaksud suatu keadaan geologi atau fenomena yang mampu mendatangkan bahaya kepada kehidupan dan harta benda (Bates & Jackson, 1980). Ia dikategorikan sama seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, banjir, tanah runtuh dan penenggelaman tanah (Spencer, 1992).

Dalam laporan yang dikeluarkan oleh *National Academy of Sciences* (NAS) di Amerika Syarikat pada tahun 1999 mendapati bahawa ^{222}Rn dalam bangunan merupakan penyumbang kedua terbesar bagi kanser peparu selepas penghisap rokok. NAS juga menganggarkan 15,000-22,000 warganegara Amerika meninggal dunia pada setiap tahun disebabkan kanser peparu yang berpunca daripada ^{222}Rn (EPA, 2004).

Walaupun paras kepekatan ^{222}Rn di luar bangunan adalah rendah iaitu lebih kurang 0.4 pCi/l, namun ia boleh meresap masuk ke dalam bangunan melalui retakan atau bukaan dasar bangunan sehingga menyebabkan paras kepekatan ^{222}Rn dalam bangunan tersebut tinggi (EPA, 2004). ^{222}Rn boleh memasuki peparu manusia semasa berlaku penarikan udara ke dalam badan. Namun begitu, selalunya ^{222}Rn yang disedut akan dihembus keluar. Faktor yang menyebabkan berlakunya kanser peparu adalah datang daripada anak-anak ^{222}Rn yang melekat pada habuk dan zarah udara yang disedut masuk dan seterusnya termendap dalam sistem pernafasan manusia (EPA, 2004).

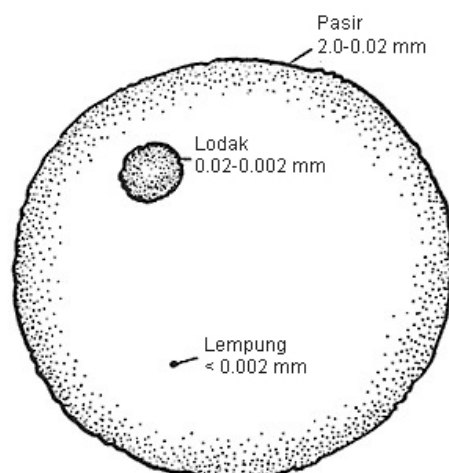
Oleh kerana setengah hayat bagi anak-anak ^{222}Rn adalah singkat, maka proses pereputannya berlaku dalam peparu dan secara tidak langsung zarah- α dibebaskan. Sifat zarah- α yang mempunyai kuasa penembusan yang rendah tetapi kuasa pemusnahan yang sangat tinggi menyebabkan kecederaan dan kemusnahan biologi yang parah di sekitarnya. Keadaan ini menyebabkan kerosakan pada tisu peparu dan seterusnya mengakibatkan kanser peparu.

2.2 Tanah

Saiz butiran tanah terbahagi kepada 5 pecahan (Jadual 2.2). Butiran tanah seperti batu, tongkol dan kelikir yang lebih besar daripada 2 mm dipisahkan daripada butiran tanah yang kurang daripada 2 mm dengan menggunakan pengayak (Ashman & Puri, 2002). Butiran tanah yang mempunyai diameter kurang daripada 2 mm terbahagi kepada 3 kelas saiz butiran iaitu pasir, lodak dan lempung. Pasir merupakan butiran yang kasar dan mempunyai diameter yang paling besar iaitu 2.00 mm hingga 0.02 mm. Ini diikuti oleh lodak yang berdiameter antara 0.02 mm hingga 0.002 mm. Manakala, lempung pula merupakan butiran yang paling halus dan mempunyai diameter paling kecil iaitu < 0.002 mm (Rajah 2.4).

Jadual 2.2: Julat bagi saiz butiran tanah mengikut Sistem Antarabangsa.
(Sumber: Ashman & Puri, 2002).

Pecahan saiz butiran	Diameter (mm)
Batu/kelikir	> 2.0
Pasir kasar	$2.0 - 0.2$
Pasir halus	$0.2 - 0.02$
Lodak	$0.02 - 0.002$
Lempung	< 0.002

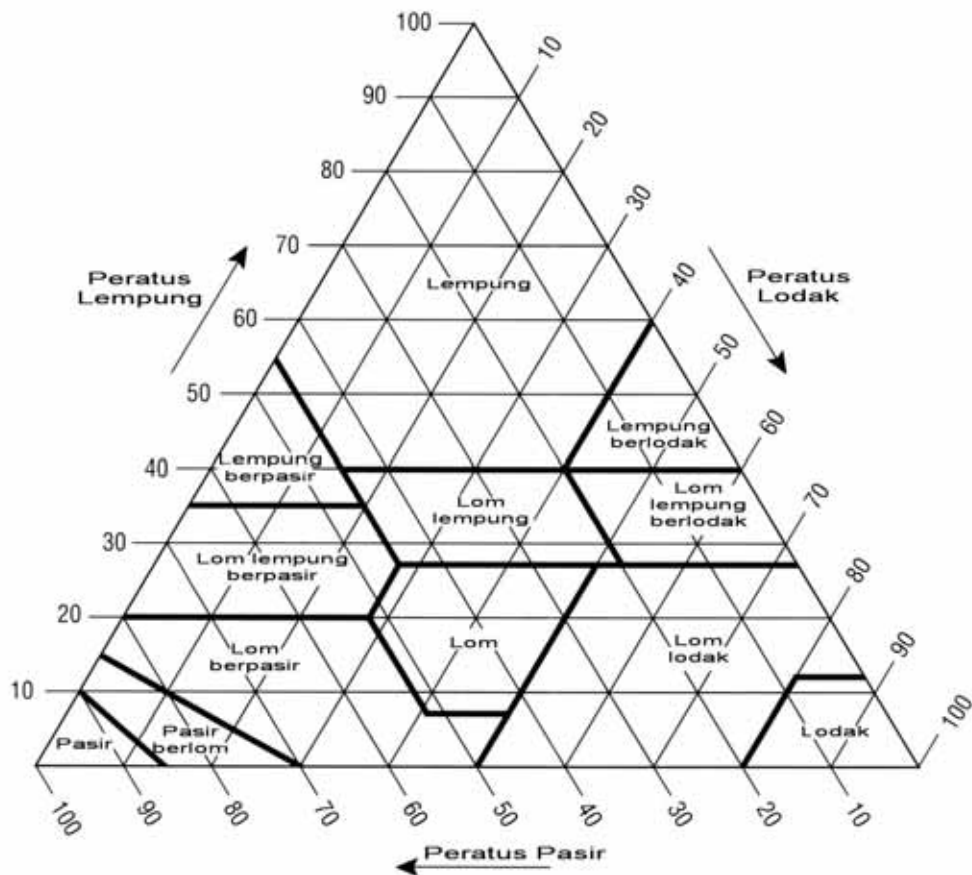


Rajah 2.4: Perbandingan saiz butiran tanah yang berdiameter kurang daripada 2.0 mm.

2.2.1 Tekstur tanah

Tekstur tanah bagi suatu sampel tanah dikenalpasti dengan menggunakan kaedah yang dikenali sebagai analisis saiz butiran atau analisis mekanikal tanah. Terdapat 2 kaedah yang perlu dilakukan untuk menentukan tekstur tanah, iaitu kaedah pengayakan dan kaedah pemendapan dalam air. Kaedah pertama, iaitu kaedah pengayakan yang digunakan untuk mengasingkan butiran pasir dan butiran-butiran yang lebih kasar daripada butiran lodak dan lempung dengan menggunakan tapisan jaringan berdawai. Selain itu, kaedah ini juga perlu untuk membahagikan lagi butiran yang lebih kasar kepada beberapa sub-pecahan lagi.

Bagi kaedah kedua pula, kaedah ini dilakukan dengan tujuan untuk mengasingkan butiran lodak dan lempung. Sebelum proses pemendapan dijalankan, sampel tanah akan diuraikan supaya partikel-partikel tanah akan termendap secara bebas. Untuk mendapatkan keputusan yang tepat, bahan organik diasingkan daripada sampel tanah. Selepas itu, lodak dan lempung dipisahkan oleh pemendapan dalam air dan kaedah ini bergantung kepada kadar pemendapan lodak dalam air tersebut. Peratus pecahan bagi pasir, lodak dan lempung dalam tanah dapat menentukan kelas tekstur tanah tersebut dengan menggunakan Segitiga Tekstur USDA (Rajah 2.5). Berdasarkan Rajah 2.5, terdapat 12 kelas tekstur tanah, iaitu pasir, pasir berlom, lom berpasir, lom lempung berpasir, lempung berpasir, lom, lom lempung, lempung berlodak, lom lempung berlodak, lom lodak, lodak dan lempung.



Rajah 2.5: Segitiga tekstur menunjukkan 12 kelas tekstur tanah dalam sistem pengklasifian tekstur USDA. (Sumber: Haunsenbuiller, 1984).

Merujuk pada Rajah 2.5, tanah yang diklasifikasikan bertekstur pasir mengandung kandungan butiran pasir yang tinggi iaitu 85 % – 100 %, manakala kandungan lodak dan lempung adalah rendah iaitu 0 % – 15 % butiran lodak dan 0 % – 10 % butiran lempung. Seterusnya, bagi tekstur tanah jenis pasir berlom pula terdiri daripada 70 % – 90 % butiran pasir, 0 % – 30 % butiran lodak dan 0 % – 15 % butiran lempung. Tekstur tanah jenis lom berpasir mengandungi kandungan pasir iaitu 50 % – 70 %, iaitu lebih rendah berbanding dengan tekstur tanah jenis pasir dan pasir berlom, tetapi kandungan lodak dan lempung adalah lebih rendah iaitu terdiri daripada 30 % – 50 % butiran lodak dan 15 % – 20 % butiran lempung.

Lom merupakan tekstur tanah berada dalam kategori tekstur sederhana. Terdiri daripada 7 % – 27 % butiran lempung, 28 % – 50 % butiran lodak dan \leq 52 % butiran pasir. Lom lodak mempunyai kandungan butiran pasir dan lempung yang sedikit kerana sebahagian besarnya terdiri daripada butiran lodak. Terdiri daripada \geq 50 % butiran lodak dan 12 % – 27 % butiran lempung atau pun 50 % – 80 % butiran lodak dan $<$ 12 % butiran lempung.

Komposisi lodak adalah hampir sama dengan lom lodak tetapi mempunyai butiran pasir dan lempung kurang daripada lom lodak. Butiran pasir yang terdapat dalamnya biasanya terdiri daripada pasir halus dan pasir sangat halus dan agak sukar untuk dikesan dengan jari. Butiran lempung yang hadir juga dalam peratus yang rendah. Lodak terdiri daripada \geq 80 % butiran lodak dan $<$ 12 % butiran lempung.

Bagi lom lempung berpasir, sebahagian besar daripada komposisi tanahnya didominasi oleh pasir dan lempung. Tekstur tanah jenis ini terdiri daripada 20 % – 35 % butiran lempung, $<$ 28 % butiran lodak dan $>$ 45 % butiran pasir. Seterusnya, lom lempung biasanya terdiri daripada 27 % – 40 % butiran lempung dan 20 % – 46 % butiran pasir. Bagi lom lempung berlodak pula terdiri daripada 27 % – 40 % butiran lempung dan $<$ 20 % butiran pasir. Butiran pasir yang hadir adalah dalam kuantiti yang sedikit.

Lempung berpasir adalah hampir sama dengan lempung berlodak tetapi mengandungi lebih banyak pasir dan kurang lodak. Kandungan lempung adalah \geq 35 % butiran lempung dan \geq 45 % butiran pasir. Tekstur tanah jenis lempung berlodak terdiri daripada \geq 40 % butiran lempung dan \geq 40 % butiran lodak. Akhir sekali, lempung adalah tekstur tanah yang paling halus. Biasanya terdiri daripada \geq 40 % butiran lempung, \leq 45 % butiran pasir dan $<$ 40 % butiran lodak.

BAB 3

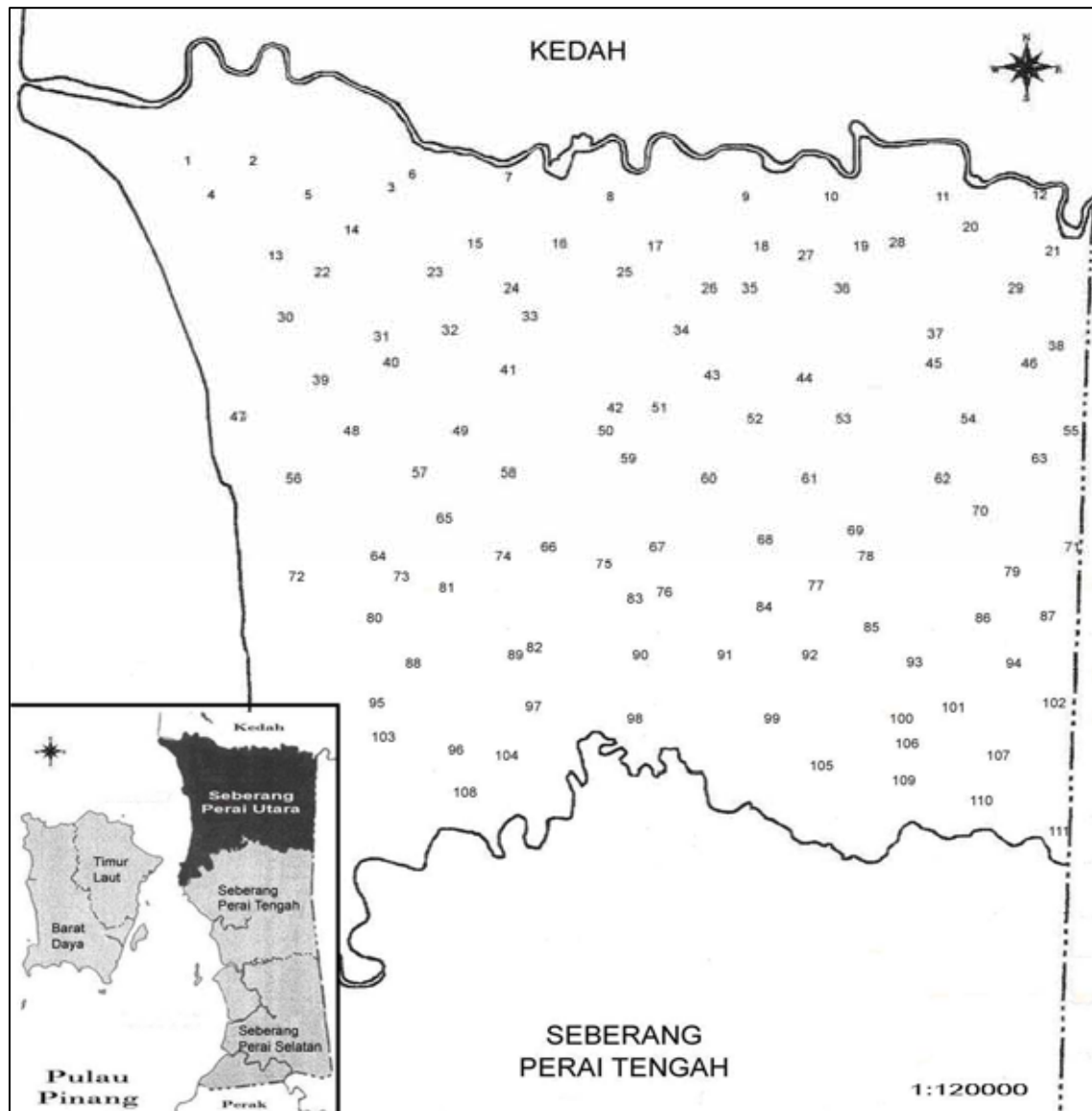
KAWASAN KAJIAN

3.0 Pengenalan

Dalam bab ini, penerangan diberikan berkaitan dengan kawasan kajian, lokasi bagi setiap sampel tanah yang diambil dari kawasan kajian dan peta-peta yang digunakan dalam kajian ini, iaitu Peta Tinjauan Tanah Tanih Seberang Perai Utara dan Peta Geologi Kuaterner bagi kawasan Seberang Perai Utara.

3.1 Lokasi Kajian

Pulau Pinang terdiri daripada 5 daerah, iaitu Timur Laut dan Barat Daya bagi kawasan pulau. Manakala, Seberang Perai Utara, Seberang Perai Tengah dan Seberang Perai Selatan terletak di tanah besar. Kajian ini tertumpu pada Seberang Perai Utara yang terletak pada longitud $100^{\circ}20.000'$ T hingga $100^{\circ}31.700'$ T dan latitud $5^{\circ}23.000'$ U hingga $5^{\circ}35.000'$ U. Seberang Perai Utara terdiri daripada 16 buah mukim. Sebanyak 333 sampel tanah yang di ambil daripada 111 lokasi yang berbeza di sekitar Seberang Perai Utara (Rajah 3.1). Jadual A menunjukkan nama kawasan dan koordinat bagi setiap sampel tanah yang diambil di kawasan Seberang Perai Utara, Pulau Pinang.



Rajah 3.1: Peta lokasi sampel tanah di kawasan Seberang Perai Utara di Pulau Pinang.